

COSMOLOGIA RELATIVÍSTICA

*Manuel José Lopes da Silva**

Introdução

Foi Galileu quem propôs o método experimental moderno a propósito de alguns problemas da Mecânica, e foi por essa via que foram também estabelecidas as leis fundamentais do Electromagnetismo. A partir daqui a evolução das Teorias Físicas dá-se através duma relação dialética Teoria/Prática, que levou à realização de duas experimentações fundacionais para confirmar a Gravitação de Newton e a Relatividade Especial de Einstein.

A Relatividade Geral ou Geometrodinâmica Einsteiniana suscitou por sua vez algumas das experiências mais espectaculares da Física Relativista.

A interdependência da Mecânica Relativista e do Electromagnetismo tornada evidente pelas medidas de radiação EMG feitas pelos radiotelescópios de hoje, suscitou a aspiração e busca de Teorias Unitárias que abrangessem todos os fenómenos da Natureza.

E foi justamente a Radioastronomia que revelou as singularidades do campo einsteiniano – o Big Bang e os Buracos Negros.

A busca actual duma Teoria do Todo pela unificação de todas as forças da Natureza, as de índole electromagnética e a gravitacional, chegou porém a um impasse que suscita algumas questões de índole gnoseológica.

O Experimentalismo Moderno

1. O método experimental moderno surgiu com Galileu, que o propôs para contrariar as posições assumidas pelos filósofos aristotélicos da sua época.

* Professor Catedrático Jubilado, UNL, Investigador do CECL/UNL.

Galileu manifesta respeito pelos Mestres antigos, Platão e Aristóteles, chegando a dizer que este último, se vivesse na Renascença seria capaz de corrigir as suas teorias para incorporar os novos conhecimentos adquiridos pelos físicos.

Para Galileu, Arquimedes chega a ter uma envergadura sobrehumana, sendo platónico pelo pendor matemático e aristotélico pelo culto experimental.

Arquimedes expõe um método de análise matemática e geométrica em que a Física e a Matemática convergem na exposição de demonstrações complexas ainda hoje algo enigmáticas.

Não admira portanto que o método galilaico siga esta orientação, propondo com Aristóteles comprovar as hipóteses “com experiências sensatas e as demonstrações necessárias” (carta a Cristina).

As “experiências sensatas podem ser reais, realizadas com os instrumentos necessários, ou simples “experiências mentais”.

Uma das experiências mentais mais importantes na história da Filosofia Natural, que constitui ao mesmo tempo uma das argumentações mais simples e engenhosas da história do pensamento racional sobre o Universo, encontra-se na crítica de Galileu à teoria do movimento de Aristóteles, provando a falsidade da suposição aristotélica de que a velocidade natural de um corpo mais pesado é maior do que dum corpo mais leve. Eis os argumentos da personagem que representa Galileu: “Se tivéssemos dois móveis cujas velocidades fossem desiguais, é evidente que se juntássemos o mais lento com o mais veloz este último seria atrasado em parte pelo mais lento, e o lento acelerado em parte pelo mais rápido.

Se a uma pedra grande juntarmos uma pequena, o conjunto deverá ter uma velocidade menor que inicialmente, uma vez que a pequena retardará a maior – o que é manifestamente errado”.

As “experiências sensatas” devem ser explicadas com as “demonstrações necessárias recorrendo ou à lógica ou à matemática e preferivelmente a esta última. Como diz Galileu no “Ensaizador”: “A filosofia está escrita neste grandiosíssimo livro que continuamente temos aberto ante os nossos olhos (quero dizer o Universo), mas não se pode entender se antes não se aprenderem as letras em que está escrito. Está escrito em língua matemática, e as letras são triângulos, círculos e outras figuras geométricas, e sem estes meios resulta impossível que os homens entendam alguma coisa; sem eles não haveria mais que dar voltas em vão por um obscuro labirinto”.

Este é um texto claramente platónico, e por isso se pode dizer que também Galileu é platónico em filosofia e aristotélico no método.

A experimentação é rigorosamente guiada pela teoria, e esta dependência entre teoria e prática é claramente constatável nas actuais teorias físicas.

Galileu estabeleceu uma Lei (a da Inércia) que havia de marcar a Nova Física: cada corpo permanece no estado de repouso ou movimento uniforme, segundo uma linha recta, enquanto não actuar sobre ele uma força.

Ele tinha aversão à Teoria das Causas dos Antigos e por isso nunca se interrogou sobre que força seria aquela que, actuando permanentemente nos graves em queda lhes acelerava o movimento.

No entanto estabelece com base experimental um Princípio da Relatividade válido para os fenómenos mecânicos: “se as Leis da Mecânica são válidas num Sistema de Referência então também são válidas em qualquer SR que se mova uniformemente em relação ao primeiro.

2. Mas é Isaac Newton quem, em 1687, quarenta e cinco anos depois de Galileu (1642), coloca tal interrogação.

Nos seus “Principia” assume o experimentalismo na Regra IV: na Filosofia experimental as proposições inferidas por indução geral a partir dos fenómenos devem ser consideradas como estruturalmente verdadeiras, ou como muito próximas da verdade, apesar das hipóteses contrárias que possam imaginar-se, até que se verifiquem outros fenómenos que as convertam noutras ainda mais exactas, ou então que se transformem em excepcionais”.

A sua actividade de experimentador desenvolve-se sobretudo no domínio da óptica, sendo a sua obra fundamental “O Sistema do Mundo”, de índole teórica.

Aí estabelece a Lei da Atracção Universal aplicada ao mundo sub-lunar dos Antigos, mas também ao hiper-uranos, aos corpos celestes que passavam a ser tão corruptíveis como os de cá de baixo.

Uma tal visão do Mundo revolucionou toda a Ciência (e Filosofia) da época e conferiu a Newton um estatuto de génio, nalguns casos exagerado.

Newton baseou-se nos trabalhos de Galileu, mas principalmente nos de Copernico e de Kepler, que foi essencialmente um matemático.

A força de atracção entre dois corpos é directamente proporcional ao produto das suas massas e inversamente proporcional ao quadrado das distâncias, e tal aplicação à Mecânica Celeste explicava todos os movimentos dos corpos que gravitam.

Uma tal força que Newton quantificou, era profundamente misteriosa já que actuava a distância, o que era incompreensível para a época.

Newton meditou profundamente sobre a sua natureza, mas não encontrou resposta, afirmando honestamente: “Hypotheses non fingo”.

No entanto faltava uma verificação experimental (experiência sensata) que só foi feita muito mais tarde, noutro contexto.

Duas Experiências Fundamentais

3. Newton deixou para os seus sucessores a tarefa de provar experimentalmente a sua Teoria da Gravitação, o que não era fácil dado que uma esfera da mesma natureza da Terra com um pé de diametro atrai uma pequena massa na vizinhança da sua superfície com uma força 20 milhões de vezes mais pequena que a exercida pela Terra.

Seria necessário que o experimentador tivesse uma grande imaginação para conceber e realizar um dispositivo capaz de evidenciar tais forças. É Henry Cavendish que constroi um dispositivo em que duas esferas de chumbo, suspensas, exercem a sua acção sobre pequenas esferas também suspensas (1797/1798).

Como as deslocações são mínimas, Cavendish teve de as observar com o auxílio de um pequeno telescópio, mas verificou efectivamente que a atracção era inversamente proporcional ao quadrado da distância.

E além disso pôde afirmar que a densidade média da Terra é de 5,48 (5,52) vezes a da água, e determinou o valor da constante gravitacional.

Esta determinação experimental dessa constante é importante porque prova directamente a Lei da Gravitação Universal, embora esta explicasse também, indirectamente, todos os fenómenos dos graves.

Podemos por isso considerá-la uma experiência fundacional.

4. Um século mais tarde (fim do século XIX) o panorama da Ciência tinha-se alterado drasticamente. Laplace, Biot-Savart, Faraday e Maxwell tinham criado a Teoria do Campo Electromagnético que explicava novos fenómenos insuportados por Newton. A Mecânica Estatística e a Física Atómica também estabeleciam graves limitações à Física Clássica de Newton.

E por fim surge a Teoria da Relatividade de Einstein em 1905, que assenta na hipótese fundamental da constância da velocidade da luz relativamente a qualquer referencial em movimento uniforme.

Em 1887, Albert Michelson e Edward Morley na Case School of Applied Sciences, em Cleveland, Ohio, tinham comparado as velocidades de dois feixes de luz perpendiculares entre si. À medida que a Terra roda em torno do seu eixo e em torno do Sol, o dispositivo experimental move-se através do éter com velocidade e orientação variáveis. Não foram porém detectadas quaisquer diferenças, diárias ou anuais, entre as velocidades da luz nos dois feixes. Logo não há éter para a luz se propagar, não há o Espaço Absoluto nem o Tempo Absoluto de Newton.

Espaço e tempo são relativos, dependem do referencial de medida, os comprimentos dos corpos contraem-se na direcção do movimento e os relógios atrasam-se (consequência da constância da velocidade da luz).

Einstein sublinha porém que, apesar desta relatividade, continua a veri-

ficar-se o Princípio da Relatividade de Galileu, agora abrangendo todas as Leis da Natureza, relativamente a qualquer SR que se mova uniformemente.

Na realidade este enunciado einsteiniano abrange não só as Leis da Mecânica Clássica (Galileu e Newton) mas também as do Electromagnetismo.

Esta invariância das Leis da Natureza relativamente aos SR animados de movimento relativo uniforme (a covariância das Leis como lhe chamava Einstein) procurou ele exprimi-la em referenciais acelerados como os da Gravitação, o que se revelou o grande projecto da sua vida.

Além disto, Einstein estabeleceu uma equação fundamental que exprime a equivalência entre massa e energia, $E = mc^2$, que muitos consideram a base dos desenvolvimentos da energia atómica.

Uma Equação Fundamental

5. Procurando desenvolver este grande projecto da sua vida. Einstein foi estabelecendo alguns princípios fundamentais, que a experiência foi revelando. Um deles é o da igualdade fundamental entre massa inercial e massa gravitacional, de tal modo que um observador dentro de um foguetão com movimento acelerado não é capaz de distinguir nos fenómenos que aí se passam, se são devidos a uma aceleração do seu referencial ou a um campo de gravitação. Note-se no entanto, que a aceleração dinâmica e a gravítica se exercem de modo muito diferente sobre a massa em consideração...

Ocorreu-lhe a ideia de transferir para o espaço o papel que na Física Clássica cabia às forças, e assim adoptou para o espaço da Relatividade Geral não o clássico espaço plano euclidiano, mas sim um espaço curvo Riemaniano. Nesse espaço pôde estabelecer a equação:

$$\text{Curvatura} = \text{Matéria}$$

No espaço euclidiano um corpo sob a acção dum impulso e abandonado a si mesmo, segue uma trajectória rectilínea com movimento uniforme sem cessar (*Galileu*).

No espaço Riemaniano da RG, o mesmo corpo segue uma trajectória designada por “geodésica” do espaço, que é para ele a mais curta distância entre dois pontos.

6. Naturalmente que Einstein não escreveu esta equação de forme tão simples. Ele colocou no primeiro membro uma entidade que descreve as propriedades geométricas do espaço, um tensor métrico (g), e no segundo um tensor de impulsão/energia (T), que dá conta da massa e energia (que são equivalentes) existentes no espaço.

Mais apropriadamente podemos escrever a equação de Einstein:

$$E(g)=T \text{ ou } E_{mn} = T_{mn} \text{ (caracter tensorial).}$$

A particularidade desta notação tensorial reside em que as equações exprimem relações que se mantêm em qualquer referencial, seja ele de inércia (Galileu) seja ele acelerado (Cálculo Absoluto).

Da equação tensorial de Einstein extraem-se várias conclusões fundamentais que lhe permitiram prever alguns fenómenos até então inexplicáveis.

Deve notar-se que as equações diferenciais de Einstein são muito difíceis de integrar, o que só é possível introduzindo grandes simplificações da realidade como adiante referiremos.

Muitos Físicos preferem designar a RG por “Teoria Relativista da Gravitação” ou “Geometrodinâmica Relativista”.

Sete Experimentações relativistas

7. As previsões feitas por Einstein a partir da sua Geometrodinâmica Relativista foram sendo comprovadas em experimentações sucessivas. Uma das primeiras foi a afirmação de que deveria haver um desvio para o vermelho na radiação dos átomos sujeitos a um intenso campo gravitacional, por exemplo o Sol. E, com efeito, já em 1925 se verificou que as riscas espectrais do Sol se desviavam para o vermelho, tornando-se evidente que os relógios (atómicos) sofrem um retardamento quando sujeitos a um campo gravitacional.

8. Outra previsão da GR é a de que o perihélio do planeta Mercúrio, o mais próximo do Sol e por ele mais influenciado, deveria sofrer um avanço a cada translação. Um pequeno avanço certamente, mas mesmo assim mensurável de 43,03'' de grau.

Naturalmente que as órbitas dos restantes planetas também não são fechadas, mas os avanços são muito menores: 8,6'' para Vénus, 3,8'' para a Terra. Nas estrelas binárias o avanço pode chegar a 1° por ano.

9. Uma grande massa gravitacional como a do Sol, deverá encurvar o espaço na sua vizinhança de forma evidente. E de facto em 1910 organizou-se uma expedição para verificar o desvio sofrido pela posição das estrelas quando o seu raio luminoso se aproximava do bordo do disco solar. O resultado confirmou a previsão de 1,75'' da RG, corrigindo a anterior previsão newtoniana de 0,87''.

10. Quando Enstein calculou em 1915 o deslocamento do perihélio de Mercúrio, fê-lo aplicando a Teoria de Newton e aplicando-lhe uma correcção relativista.

De facto as suas equações eram extremamente complexas e ele ainda não tinha encontrado uma solução. Foi Karl Schwartzchild quem, algumas décadas depois, encontrou uma solução introduzindo as condições duma simetria esférica e de ausência de massas na vizinhança.

Chegou a uma métrica parecida com a de Minkowsky, mas que exhibia inesperadas singularidades. Foi o início da suspeita da existência de objectos extremamante densos que deformariam drasticamente o espaço – a ideia dos “buracos negros”.

11. Em 1964, Shapiro demonstrou que um raio luminoso não somente era desviado por um campo gravitacional intenso, como a duração do seu trajecto aumentava relativamente a um espaço euclidiano. Nesta experimentação foram utilizados sinais de radar enviados a Marte quando foi ocultado pelo Sol.

12. Em 1968 Nordvedt propôs que se utilizassem os reflectores laser deixados na Lua pela missão Apollo para verificar as perturbações da translação lunar em volta da Terra, devido à interacção resultante de ambos os corpos serem atraídos em conjunto pelo Sol. No entanto não foram detectadas perturbações, que deverão ser ínfimas.

13. Mas as experimentações relativistas mais interessantes foram as resultantes do modelo cosmológico estabelecido por Einstein para o nosso Universo.

As equações do campo por ele propostas conduziam a um Universo cilíndrico, ilimitado e em expansão. Para Einstein, naquela época, esta expansão sem fim era uma imperfeição, e por isso introduziu a célebre constante cosmológica destinada a travar tal movimento.

Mas o Universo está de facto em expansão, como demonstrou Hubble com a descoberta do desvio para o vermelho das riscas espectrais das nebulosas longínquas.

A teoria do Big-Bang tem também aqui a sua origem, sendo esta hipótese confirmada com as medidas duma radiação de fundo, em todo o Universo, de baixa frequência (ondas de rádio), que será o remanescente actual duma gigantesca explosão primordial.

Singularidades do Campo

14. A Radioastronomia, uma ciência insuspeitada pelos Físicos até meados do Sec. XX, baseia-se no uso de grandes antenas e de receptores radioelétricos de grande sensibilidade que são apontadas para o espaço em busca de radiações electromagnéticas de qualquer frequência.

A primeira grande surpresa foi a descoberta da radiação de fundo já referida.

Mas também se detectaram radiações com frequências correspondentes à presença de grandes massas de hidrogénio, oxigénio e carbono, e seus compostos, confirmando a ideia geral de que o Universo está repleto dos mesmos elementos e compostos que existem na Terra.

15. Nova surpresa tiveram os investigadores quando detectaram radiações X e γ , de muito altas frequências.

As situações que dão origem a raios tão energéticos, por vezes sob a forma de salvas rápidas, envolvem a acção de forças gigantescas em domínios confinados, como é o caso dos “buracos negros” previstos por Schwartzchild.

Trata-se do afundamento de certas estrelas, de massas várias vezes superiores à do Sol sobre si próprias.

Em certo estado da sua evolução a pressão da matéria em fusão que tende a expandir-se, não é suficiente para neutralizar a força da gravidade, que tende a esmagar cada vez mais a estrela reduzindo-a a um ponto.

O colapso final produz salvas de raios X e γ duma intensidade inconcebível. Se um tal acontecimento se desse relativamente próximo do Sol, toda a vida na Terra subitamente se aniquilaria.

16. As singularidades do campo contidas na equação de Einstein prevêem estes fenómenos extremos, mas não os explicam. As abordagens que têm sido feitas dos buracos negros, por exemplo, partem directamente da Mecânica Quântica ou da Termodinâmica.

Esta incompatibilidade entre a Teoria da Relatividade e a Mecânica Quântica constitui ainda hoje um problema complexo, que Einstein procurou resolver com uma Teoria do Campo Unitário, mas sem o conseguir.

A Unificação das Forças

17. A Física actual é dominada pelos resultados obtidos nos grandes aceleradores de partículas, quer na Europa quer nos Estados Unidos. O chamado Modelo Standard das partículas comporta três famílias de partículas da matéria, cada uma com quatro elementos, abrangendo doze partículas designadas por fermiões. Além disso engloba mais doze partículas que causam os campos das forças fundamentais do Universo (os bosões, que não têm massa) e prevê a existência de mais cinco bosões que explicarão como é gerada a massa a partir da energia, os bosões de Higgs, que constituem o campo de Higgs, ainda não detectado.

A matéria normal é constituída por electrões e por protões, estes com três quarks cada.

As forças fundamentais são a força “fraca”, a força “forte”, a electro-magnética e a gravitacional.

A força fraca é responsável pela transformação de neutrões em protões, ou vice versa, e envolve aoenas mudança dum quark para outro de natureza diferente, uma transferência de carga eléctrica – e por isso tem um valor mínimo.

Já a força forte é responsável pela coesão dos quarks nos núcleos, e aumenta com a distância, comportamento semelhante ao duma cola, e daí as suas particulas serem designadas por “gluões”.

A força electromagnética já actua a distâncias muito maiores, fora do núcleo. Mas é a força gravitacional que actua às maiores distâncias, à escala cósmica.

18. A investigação actual procura encontrar instrumentos matemáticos que reduzam estas forças a uma única força fundamental, seguindo uma via com várias etapas

A força eléctrica, que comando a electricidade, o electromagnetismo e a luz, é parente próxima da força fraca e por isso ambas dão origem às designadas “interacções electro-fracas”.

Há esforços convergentes para conseguir a unificação destas interacções electro-fracas com a força forte das interacções fortes, mas tal unificação está para além das possibilidades actuais porque exigiria um acelerador com o diâmetro de alguns anos luz.

E para além desta unificação, aspira-se à unificação final das particulas do modelo standard com a Relatividade Geral que inclui a Gravitação. Se isso acontecer teremos uma Teoria do Tudo, TOE (Theory of Everything), mas o acelerador necessário terá de ter o diâmetro do Universo.

A Experiência Impossível

19. As diferenças de energia das particulas da primeira unificação (a electro-fraca) e da segunda unificação, são tão desmesuradas que criaram o “problema da hierarquia”, que costuma ser considerado a “medida da nossa ignorância”.

Na campo teórico tenta-se avançar dispensando a experiência final com o acelerador cósmico, procurando uma explicação universal para todas as particulas, incluindo o gravitão.

Define-se um objecto elementar com apenas uma dimensão (uma corda) ou com várias dimensões (branas), que ao oscilar produzem as várias particulas.

Tais objectos podem oscilar com vários modos, lineares ou circulares, e com várias amplitudes, dando cada configuração origem a uma das partículas que temos estado a referir, incluindo o gravitão.

A Teoria das Cordas é extremamente elegante, recorre a novas dimensões do espaço (mais seis...) enroladas sobre si próprias e inacessíveis à nossa experiência.

Não há qualquer hipóteses de confirmação experimental directa com os instrumentos tecnológicos actuais, embora estes nos pareçam extremamente poderosos.

Não tem sentido interrogarmo-nos sobre a natureza das cordas, porque são elas que constituem quer a matéria, quer a energia. Ao oscilarem tornam-se matéria ou energia, se não oscilarem não são nada (são espaço...).

Há manifestamente um problema gnoseológico com esta teoria, que abordaremos a seguir.

Além da Teoria das Cordas há outras que concorrem para o mesmo objectivo de unificação, como por exemplo a da super-gravidade, ou outras ainda.

Pensa-se no entanto que qualquer das seis teorias é um caso particular duma supeitada “Teoria M”, que essa, sim, será porventura a Teoria do Tudo.

A impossibilidade de construir reactores à escala cósmica e já não terrestre, sugere que a evolução das Teorias Físicas baseada no experimentalismo atingiu um impasse.

Talvez esse impasse fosse previsível devido ao ponto de partida da Física Moderna, que foi o estabelecimento duma nova Mecânica – o próprio electromagnetismo assenta na hipótese de partículas electrizadas, sendo um modelo claramente mecanicista.

A perspectiva duma inversão de marcha, que partindo das oscilações puras reconduzisse à Mecânica é fascinante...

Perspectiva Filosófica

20. Perante propostas de objectos, relações ou estruturas da Natureza tão afastadas do senso comum, é natural que nos interroguemos sobre a sua validade.

Corresponderão eles da facto a algo realmente existente? Na Filosofia da Natureza já há algum tempo que se estuda esta questão, e a posição consensual sublinha que se trata de “entes de razão com base no Real”.

Em tempos afirmava um Professor de Física Teórica, depois de calcular o raio do electrão, que na realidade não sabíamos se a sua forma era redonda ou bicuda. Tratava-se dum cálculo matemático inspirado por determinadas medidas, e nada mais do que isso.

O mesmo se passa com os actuais modelos da Física – com o Big Bang, com os Buracos Negros, com os quarks ou com as cordas.

Sobretudo são inadequadas e injustificáveis as ligações que por vezes se fazem com as cosmogonias religiosas.

O Big Bang é uma abstracção matemática pouco convincente mesmo do ponto de vista físico, e o mesmo se diga dum buraco negro. Trata-se como dissemos de singularidades matemáticas onde se não aplicam as leis da Física corrente.

Bibliografia

- Aubert, J.M., “Filosofia de la Naturaleza”, Ed. Herder, Barcelona, 1987.
Einstein, Albert, “O significado da Relatividade”, Ed. Arménio Amado, Coimbra, 1958.
Einstein, A., e Infeld L., “A evolução da Física”, Ed. Livros do Brasil, Lisboa.
Greene, Brian, “O Universo Elegante”, Ed. Gradiva, Lisboa, 1999.
Hawkins, Steph. and Penrose, R. “A natureza do Espaço e do Tempo”, Ed. Papirus, Campinas, SP, 1997.
Hawking, Stephan, “O universo numa casca de noz”, Ed. Gradiva, Lisboa, 2001.
Minot, Gilles et all, “L’espace et le temps aujourd’hui”, Ed. Du Seil, 1983.

Resumo

A Ciência Moderna evolui com base na dialética Matematização/Experimentação, como foi proposto na Renascença por Galileu. A Teoria de Newton deu origem à experimentação fundamental de Cavendish, assim como as Teorias de Einstein deram origem a várias experimentações ainda hoje de grande actualidade.

Numa grande síntese teórica, a Relatividade Geral, Einstein propõe uma equação que envolve a matéria e a energia a nível cosmológico, que foi comprovada por várias experimentações relativísticas.

Gravitação e Electromagnetismo mantêm todavia autonomia própria no campo teórico ainda que no campo experimental apareçam intimamente interligadas, como revelou a Radioastronomia suscitando a questão das singularidades do campo – o Big-Bang e os Buracos Negros.

A nova perspectiva da Física baseia-se na busca de unificação das antigas e das novas forças entretanto descobertas.

A Teoria das Cordas é uma teoria unitária, ainda por confirmar, que entretanto levanta questões delicadas no plano gnoseológico.

Palavras-chave: Físicas Moderna e Relativista, Experimentação / Matematização, Gravitação, Matéria / Energia, Novas Forças, Unificação, Cordas, Gnoseologia